

пуансонів і особливо матриць зазнавала змін у дуже широких інтервалах. 3. Якщо розрахунком визначити оптимальні значення висоти матриці, то можна забезпечити майже стабільні розміри отвору, а отже й забезпечити високу стійкість розділових штамів.

**Список літератури:** 1. *Заярненко Е.И.* Разработка математических моделей и расчеты на прочность разделительных переналаживаемых штампов: дис...доктора. техн. наук: спец. 01.02.06 и 05.03.05 / Заярненко Евгений Иванович. – Харьков, 1992. – 280 с. 2. *Романовский В.П.* Справочник по холодной штамповке / В.П. Романовский. – Л.: Машиностроение, 1979. – 520 с. 3. *Демина Н.А.* Совершенствование методов расчета элементов штамповой оснастки на основе анализа их напряженно-деформированного состояния: дис. кандидата техн. наук: спец. 05.03.05 / Демина Наталья Анатольевна. – Харьков, 2011. – 192 с.

**УДК 621.471.75**

**МОВШОВИЧ А.Я.**, докт. техн. наук, проф., УИПА, Харьков

**ЧЕРНАЯ Ю.А.**, инженер, УИПА, Харьков

**ИЩЕНКО Г.И.**, главный инженер ВАТ «Турбоатом», Харьков

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕТОНАЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ РЕЖУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПЕРЕНАЛАЖИВАЕМЫХ ШТАМПОВ**

Приведены результаты экспериментального исследования физико-механических характеристик детонационных покрытий на прочность сцепления покрытия с основой (подложкой) инструмента переналаживаемых штампов, их влияния на его ресурс и износостойкость.

Приведені результати експериментального дослідження фізико-механічних характеристик детонаційних покриттів на міцність зчеплення покриття з основою (підкладкою) інструменту переналагоджуваних штамів, їх впливи на його ресурс і зносостійкість.

Results of an experimental research of physicomachanical characteristics of detonation coverings on durability of coupling of a covering with a basis (substrate) of the tool of readjusted stamps, their influences on its resource and wear resistance are resulted.

**Введение.** Режущие элементы переналаживаемых штампов в процессе эксплуатации подвергаются ударным нагрузкам, носящим, как правило, циклический характер, с сильной концентрацией напряжений на рабочих поверхностях. Эти напряжения достигают 120-170 кгс/см<sup>2</sup>, что требует от материала, предназначенного для их изготовления, повышенной прочности при высокой износостойкости. Для нормальной работы штампов необходимо, чтобы инструмент не подвергался смятию, не выкрашивался и относительно мало нагревался.

При штамповке листового металла прочность пуансонов и матрицы должна в 6-8 раз превосходить прочность штампуемого материала. Это, особенно, относится к материалам, толщиной свыше 5 мм.

Анализ отказов, возникающих в процессе эксплуатации, специализированных переналаживаемых штампов, показал, что до 80% отказов режущих элементов имеет износостойкий характер и связаны, главным образом, с изменением геометрических параметров, что чаще всего определяется не поломками, а износом поверхностей, под влиянием трения при взаимодействии их со штампуемым материалом.

Разработка и широкое внедрение технологии получения на рабочих поверхностях деталей эксплуатационного слоя с физико-механическими характеристиками, обеспечивающими оптимальные условия эксплуатации, является главным направлением в деле повышения ресурса выпускаемых изделий и достигается детонационно-газовым методом.

Эффективность применения покрытий связана, прежде всего, с повышением срока службы упрочненных деталей. При чем, увеличение затрат на их изготовление значительно ниже по сравнению с экономией от увеличения срока их службы. Кроме того, детонационное напыление в целом ряде случаев позволяет заменить дорогостоящие стали и цветные металлы на более дешевые недефицитные материалы за счет придания необходимых эксплуатационных свойств только рабочим поверхностям, непосредственно подверженным влиянию неблагоприятных факторов, вместо упрочнения детали в целом. Все вместе, это обуславливает получение значительной экономии материальных и энергетических ресурсов, а также улучшение экологической ситуации [2,3].

Основное внимание при разработке технологии было уделено получению достоверной, объективной и быстрой информации о свойствах исследуемых покрытий. В связи с этим был разработан ряд методик по определению служебных характеристик покрытий:

- определение прочности сцепления покрытий с основой / защищена авторским свидетельством СССР № 1265556 / ;
- определение коэффициента трения;
- определение термостойкости теплозащитных керамических покрытий [2].

Повышение работоспособности режущего инструмента после нанесения упрочняющих покрытий достигается в результате действия следующих факторов:

- на поверхности инструмента создается барьерный слой, препятствующий распространению диффузии от обрабатываемого материала и уменьшающий его налипание на инструмент;
- повышается поверхностная микротвердость, увеличивающая способность инструмента сопротивляться абразивному изнашиванию;
- уменьшается трение между поверхностью инструмента и обрабатываемым материалом.

Детонационный метод нанесения покрытий заключается в использовании энергии газовой смеси в канале ствола детонационно-газовой установки (рис.1). управляемая детонация сообщает частицам наносимого металла, вводимого в ствол установки, высокую скорость и температуру. В точке удара возникает давление, превышающее предел текучести материала покрытия и основы, что

обеспечивает необходимые условия для осуществления хорошей связи наносимого материала с подложкой (деталью).

Существенное преимущество импульсных методов – умеренный нагрев покрываемых поверхностей, не превышающий 250 °С. Поэтому основа практически не деформируется и не подвергается другим физическим изменениям.

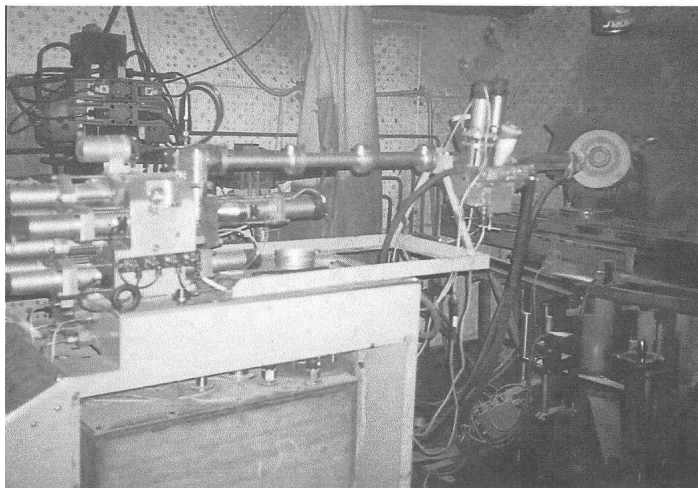


Рис.1. Установка детонационно-газового напыления

Для определения влияния материала покрытия, наносимого детонационно-газовым методом, на износостойкость режущих элементов штампов исследовались образцы из материалов ВК-25М, ПГ-10Н-0,1, ПС 12НВК-01.

Эти материалы обеспечивают максимальные значения твердости и минимальный уровень остаточных напряжений, преимущественно сжимающих. В качестве подложки была выбрана сталь 45 с твердостью 28-36 HRC.

Образцы представляли собой диски диаметром 40 мм, толщиной 10 мм и колодочки с дугой обхвата 24,3 мм.

При отработке режимов детонационно-газового упрочнения для отобранных порошковых материалов были выполнены предварительная оптимизация режимов стрельбы, а также экспериментальный подбор режимов нанесения покрытия.

В качестве критериев оптимизации принимаем прочность сцепления покрытия с подложкой, твердость покрытия, его толщину, напыляемую за единичный выстрел, коэффициент использования порошка.

Лабораторные испытания проводились на машине трения МЧ-1М, под нагрузкой 50 кгс, 75 кгс и 100 кгс. При площади контакта  $S=243 \text{ см}^2$  удельное давление составляло  $P_1=20 \text{ кгс/см}^2$ ,  $P_2=30 \text{ кгс/см}^2$ ,  $P_3=49 \text{ кгс/см}^2$ .

Перед испытаниями каждая пара деталей подвергалась приработке. Образцы работали в паре с контртелом из стали ШХ15, термически обработанным до твердости 58-60 HRC.

Интенсивность износа образцов оценивалась по весовому и линейному износу методом Кригельского И.В.

По результатам испытаний построены графики зависимости износа образцов от продолжительности испытаний (рис.2) и зависимости линейного износа от удельного давления (рис.3).

Анализ результатов показал, что мы имеем для всех испытываемых образцов два ярко выраженных периода изнашивания. В первый период изнашивания происходит приработка трущихся поверхностей – изменение их микро- и макро-геометрии. Во времени этот период составляет от 4 до 8 часов

непрерывной работы или от 320 до 640 тыс. циклов. При этом линейный износ прямо пропорционален времени изнашивания.

После периода обработки, который необходимо стремиться сокращать, наблюдается второй период установившегося износа. В этом случае имеет место линейная зависимость между временем изнашивания  $t$  и величиной износа  $V$ , т.е. в период установившегося износа скорость изнашивания остается постоянной.

Из графиков видно, что минимальный износ имеют образцы с покрытием ВК-25М. С увеличением удельного давления величина линейного износа возрастает. При этом на участке  $0-20 \text{ кгс/см}^2$  величина линейного износа прямо пропорциональна изменению величины удельного давления.

Адгезию определяли по штифтовой методике с использованием конических штифтов, твердость – по методу Виккерса, усталостную прочность – по схеме «пульсирующего контакта» на специальном испытательном стенде.

Испытанию подвергались образцы с детонационным покрытием ВК-25М, толщиной 150-300 мкм и диаметром штифта 1,5-2,0 мм. Материал подложки-сталь 45. для устранения люфта штифты тщательно притирались в коническом отверстии втулки. Диаметры торца штифтов ( $d_{\text{шт}}$ ) определялись с помощью микроскопа М5С-9 с точностью  $0,5 \times 10^{-2}$  мм. Толщина покрытия измерялась с точностью  $0,2 \times 10^{-2}$  мм. Напыленные образцы испытывались на разрывной машине Р-0,5. При отрыве штифта фиксировалось усилие отрыва с точностью до 0,1 Н.

Единым критерием, определяющим прочность сцепления покрытия с подложкой является критическая деформация разрушения ( $\epsilon$ ) – деформация при которой возникает первый дефект в покрытии. Этот параметр позволяет оценить предельное состояние композиции подложка-покрытие, независимо от характера разрушения покрытия (отслоение, расслоение, растрескивание, и т.д.) [1].

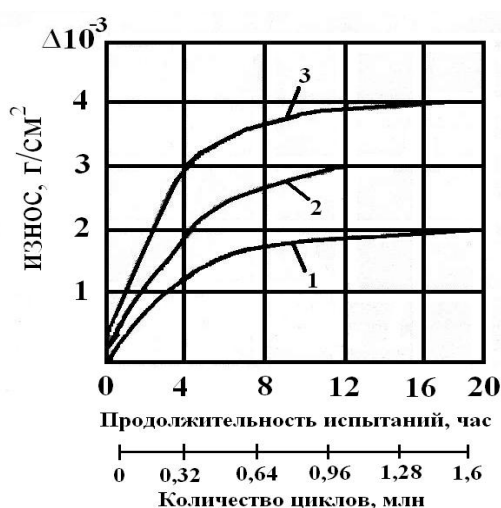


Рис.2. Зависимость износа образцов от продолжительности испытаний: 1 – ВК-25М; 2 – ПГ-10Н01; 3 – ПТ-19Н01.

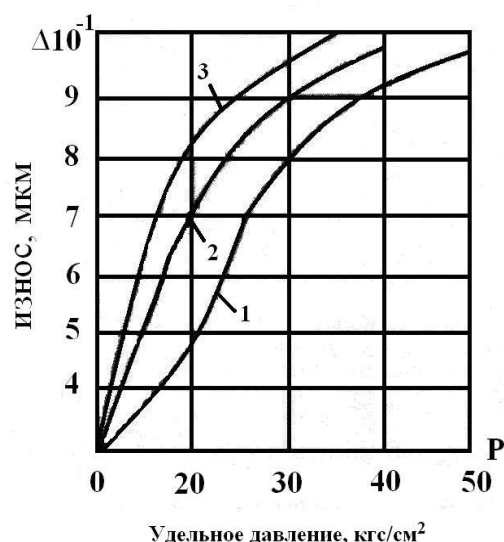


Рис.3. Зависимость линейного износа образцов от удельного давления: 1 – ВК-25М; 2 – ПГ-10Н01; 3 – ПС12НВК-01.

Возникновение и рост трещин в покрытии фиксировалось с помощью акустической эмиссии, что обеспечило высокую точность измерений.

Максимальная величина адгезионной прочности  $\tau_{\text{сц}}$  ограничена условие перехода трещин из покрытия в подложку.

Минимальная – ограничена условием одновременного когезионного растрескивания и адгезионного отслоения.

Согласно данному критерию прочность сцепления покрытия с подложкой должна лежать в оптимальном интервале адгезии:

$$\sigma_{\text{п}} k \cdot h < \tau_{\text{сц}} < [\sigma_{\text{во}}] \frac{\frac{L}{E_0 \cdot k} \cdot t(kl)}{\sqrt{1 + 4 \left[ \frac{L}{E_0 \cdot k} \cdot th(kl)^2 \right]^2}},$$

где  $\sigma_{\text{п}}$  - напряжение в покрытии вызывающее его разрушение;

$\tau_{\text{сц}}$  - величина касательных напряжений приводящих отслоению покрытия от подложки;

$[\sigma_{\text{во}}]$  - напряжения вызывающие разрушение материала подложки с учетом разупрочняющего влияния трещин в покрытии;

$h$ - толщина покрытия ;

$l$ - расстояние между соседними трещинами в покрытии;

$k, L$  – параметры, зависящие от величины упругих характеристики подложки и покрытия;

$t$  – число эффектов взаимодействий.

$$L = 2 \frac{\frac{G_0 \cdot G_n}{H \cdot h}}{\frac{G_0}{H} + \frac{G_n}{h}},$$

где  $H$  – толщина подложки;

$G_0, G_n$  - модули сдвига основы и подложки;

$E_0, E_n$  - модули упругости основы и подложки.

Совместное использование критериев адгезионно-когезионной равнопрочности и критической деформации разрушения позволяет получить высоко адгезионную и когезионную прочность покрытия при минимальном разупрочнении подложки, что особенно важно для обеспечения надежной работы штамповой оснастки [1].

В результате проведенных экспериментальных исследований получены значения механических характеристик исследуемых покрытий при изменении конструкторско-технологических факторов:

- дистанции напыления;
- навески порошка на цикл напыления;
- толщины напыляемого покрытия.

Графические зависимости  $\varepsilon_{\text{кр}}$ ,  $E_{\text{п}}$ ,  $\tau_{\text{сц}}$ ,  $\sigma_n$  представлены на рис. 4-7.

Характер их изменения показывает, что для адгезионной прочности и критической деформации разрушения покрытия существует значение дистанции

напыления ( $L=170$  мм), при котором эти характеристики имеют максимальные значения. Высокая прочность сцепления детонационных покрытий при оптимальных режимах нанесения покрытия обусловлена наличием на границе раздела основа-покрытие не только адгезионных, но и химических связей, что подтверждается результатами исследования химического состава переходной зоны на электронном микроскопе, с помощью дисперсионного энергетического спектрометра LZ-5 с обработкой результатов на микрокомпьютере «Link-860».

Так, при формировании покрытия ВК-25М изменение дистанции напыления, как в сторону изменения до 130 мм, так и в сторону увеличения до 210 мм приводит к ухудшению свойств покрытий. При малой дистанции напыления имеет место перегрев покрытия и его растрескивание под действием температурных напряжений, а при слишком большой дистанции температура и скорость частиц снижаются, что приводит к образованию пор на границе раздела «покрытие-основа» и уменьшению прочности сцепления покрытия с основой. В то же время, при увеличении дистанции напыления со 130 до 210 мм происходит незначительное (на 10-11,5 %) увеличение модуля упругости и когезионной прочности покрытия.

Исследование влияния толщины покрытий на их свойства показали, что с увеличением  $h$  снижаются критическая деформация разрушения покрытия, когезионная и адгезионная прочность.

Это обусловлено увеличением в покрытии уровня остаточных напряжений. Незначительное изменение уровня модуля упругости покрытия от толщины можно объяснить влиянием на эту характеристику неравномерного распределения химических элементов многокомпонентного покрытия по толщине.

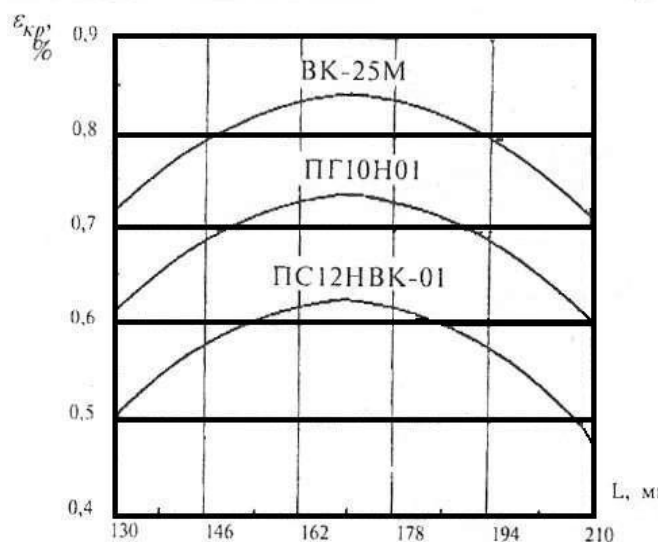


Рис.4. Зависимость критической деформации разрушения покрытия от дистанции напыления

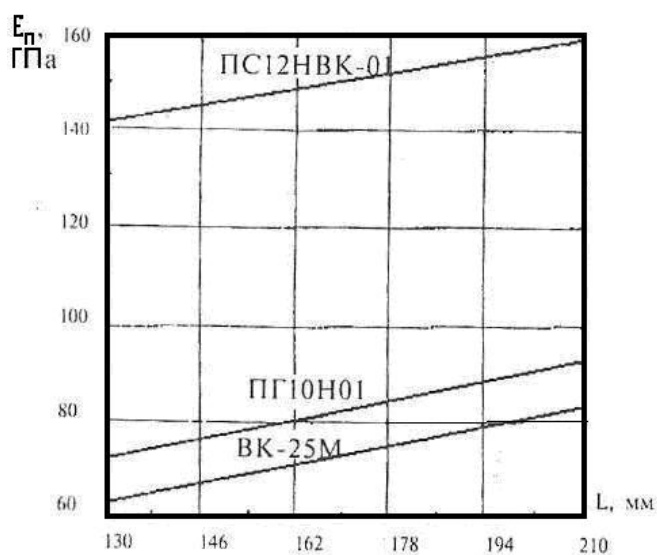


Рис.5. Зависимость модуля упругости покрытия от дистанции напыления

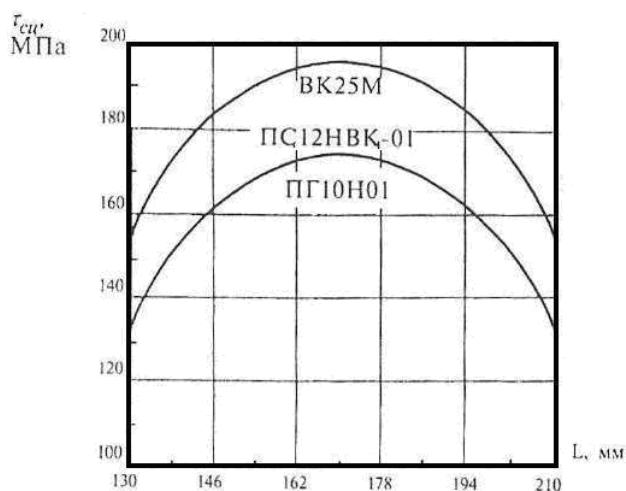


Рис.6. Зависимость прочности сцепления на сдвиг от дистанции напыления

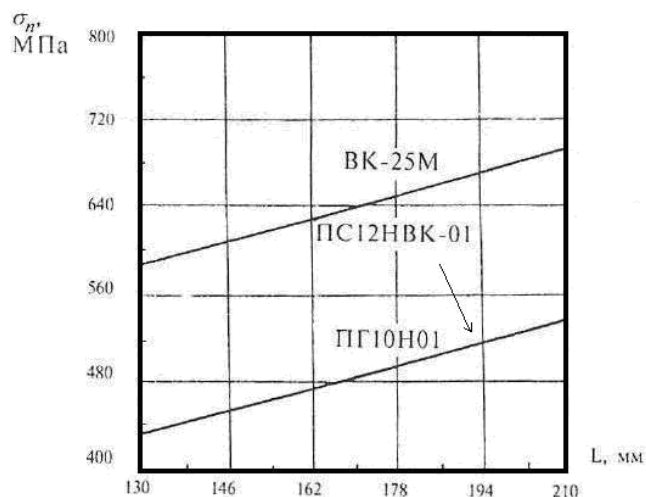


Рис.7. Зависимость когезионной прочности от дистанции напыления

Кроме того, происходит изменение химического состава на границе раздела «основа-покрытие», связанное с физико-химическими процессами при формировании напыляемого слоя.

### Выводы

Повышение ресурса работы режущих элементов переналаживаемых штампов достигается путем нанесения на их рабочие поверхности упрочняющих покрытий импульсным высокоэнергетическим напылением порошкообразного материала с заданными технологическими характеристиками.

Основными преимуществами метода детонационно-газового напыления в сравнении с другими методами газо-термического высокотемпературного напыления (электродуговая металлизация, газопламенное и плазменное напыление) являются:

- возможность нанесения покрытий на холодную деталь (без необходимости предварительного, сопутствующего либо последующего ее нагрева);
- высокая прочность сцепления (адгезия) покрытия с материалом детали (до 250 МПа);
- высокая плотность покрытий (до 99%);

Применение детонационно-газовых покрытий повышает ресурс работы штампового инструмента в 1,5-1,8 раза, а в ряде случаев позволяет заменить дорогостоящую инструментальную сталь на более дешевую конструкционную.

**Список литературы:** 1. Богуслаев В.А., Долматов А.И., Мовшович А.Я., др. Повышение ресурса модулей двигателей технологическими методами. Запорожье : ОАО «Мотор Сич», 2003. – 269 с. 2. Мовшович А.Я., Гремик Б.В. Повышение стойкости режущих элементов штампов методом нанесения упрочняющих покрытий. М.: Кузнечно - штамповочное пр-во, 2005. - №6, - с. 19-32. 3. Григорьев С.И., Шеин А.А. Виды износостойких покрытий и методы их нанесения на детали машин. М.: Кузнечно - штамповочное пр-во, 2005. - № 5, - с. 27-30.